Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 181-196

The Effect of Some Plant Growth Stimulants on Some Physiological and Biochemical Properties of Lemon Balm (*Melissa officinalis*. L.) under Different Irrigation Regimes

Mustafa Yasini [1], Soran Sharafi [2] and Saman Yazdan Seta [2]

1 and 2- Graduated M.Sc. and Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University, Mahabad Branch, Mahabad, Iran, respectively.
(*- Corresponding author's Email: S.sharafi@iau. Mahabad.ac.ir)

Received: 06-07-2023 Revised: 12-10-2023 Accepted: 24-10-2023 Available Online: 24-10-2023	**How to cite this article:** Yasini, M., Sharafi, S., & Yazdan Seta, S. (2024). The effect of some plant growth stimulants on some physiological and biochemical properties of Lemon balm (*Melissa officinalis*. L) under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology, 16*(1), 181-196. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2023.83280.1159

Introduction

Medicinal plants are one of the most valuable resources in Iran's wide range of natural resources, which can play an important role in society's health, job creation, and non-oil exports if they are scientifically recognized, cultivated, developed, and exploited properly. Iran is considered one of the world's best regions in terms of climate, geographical location, and medicinal plant growth, and it has been a source of production and consumption of medicinal plants in the past. Lemon balm is generally used in traditional medicine to treat digestive problems, pain, and mental disorders. Drought stress is one of the most serious and widespread problems that limit plant productivity because it negatively affects plant physiology. The effects of drought stress depend on the duration, intensity and stage of growth and the genetic tolerance capacity of plants, which can reduce the growth of plants. It causes a change in morphological and physiological structures and the pattern of biomass distribution or even death.

Materials and Methods

To study the effect of foliar different growth stimulants on the growth characteristics and essential oil of balm at different levels of drought stress, an experiment was carried out in the crop year 2021. The experiment was a split plot based on randomized complete blocks with four replications, where different levels of irrigation include irrigation after 80, 60, and 40 percent of the field crop capacity (FC) in the main plots and foliar application of different growth stimulants including control, melatonin, amino acid, and folic acid were placed in sub-plots. In this research, total chlorophyll, dry matter yield, relative water content, phenoline content, soluble sugars, essential oil content, essential oil yield, total phenol, and flavonoid were measured. The data obtained from the experiment was analyzed using SAS.9.4 software. The obtaineds averages were statistically compared using Duncan's method (LSR) and at the five percent probability level.

Results and Discussion

https://doi.org/10.22067/agry.2023.83280.1159

The results of variance analysis of the data showed that the effect of irrigation and foliar spraying on growth stimulants on all investigated traits were significant at the probability level of 1%. There was a significant difference between the interaction treatments in terms of chlorophyll content, proline content, essential oil percentage, essential oil yield, and flavonoid content at the probability level of one percent and in terms of relative leaf water content, dry matter yield, soluble sugars content and total phenol content at the probability level of five percent. The results showed the highest chlorophyll content (2.25 mg g^{-1} FW), relative leaf water content (88.12 percent), and dry matter yield (793.79 kg ha^{-1}) was recorded in melatonin foliar application and irrigation of 80% of FC treatments. Also, the highest essential oil content (0.81%) and essential oil yield (6.46 kg ha^{-1}) were observed in treating foliar application with melatonin under the irrigation treatment of 60% FC. This study allocated the highest total phenol content to melatonin foliar application at 40% of the FC conditions. In this study, 40% FC irrigation treatment increased the flavonoid content by 29.90% and 93.23%, respectively, compared to 60% and 80% FC. Furthermore, foliar application of melatonin, proline amino acid, and folic acid increased the flavonoid content compared to the control treatment by 17.64, 23.35 and 32.35%, respectively.

Conclusion

In this study, melatonin foliar application in all three irrigation conditions increased essential oil yield compared to the corresponding control. Under irrigation and foliar spraying of melatonin, the synthesis of secondary metabolites and essential oil has been accelerated and produced the maximum yield of essential oil. Therefore, foliar spraying of melatonin and mild water deficit stress can be recommended to achieve maximum economic yield in Lemon balm.

Keywords: Dry matter, Essential oil percent, Irrigation, Melatonin, Proline

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ١٦، شماره ١، بهار ١٤٠٣، ص ١٩٦-١٨١

اثر برخی از محرک‌های رشد گیاهی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

مصطفی یاسینی[۱]، سوران شرفی[۲]* و سامان یزدان ستا[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۲

چکیده

با هدف مطالعه اثر محلول‌پاشی محرک‌های مختلف رشد بر خصوصیات رشدی و اسانس گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) در سطوح مختلف تنش خشکی، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار بود. سطوح مختلف آبیاری شامل آبیاری بعد از ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی محرک‌های مختلف رشد شامل شاهد، ملاتونین، اسیدآمینه پرولین و اسید فولیک در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بالاترین محتوی کلروفیل (۲/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، محتوی نسبی آب برگ (۸۸/۱۲ درصد) و عملکرد ماده خشک (۷۹۳/۷۹ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی ملاتونین و آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد، همچنین بالاترین درصد اسانس (۰/۸۱ درصد) و عملکرد اسانس (۶/۴۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی ملاتونین تحت تیمار آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. محلول‌پاشی ملاتونین در هر سه تیمار آبیاری بر درصد و عملکرد اسانس افزود. بالاترین محتوی فنل کل (۰/۵۰ میلی‌گرم اکی‌والان‌های اسید گالیک در ۱۰۰ گرم عصار) به تیمار محلول‌پاشی ملاتونین تحت شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی اختصاص داشت. تیمار آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، محتوی فلاونوئید را در مقایسه با سطوح ۶۰ و ۸۰ درصد به‌ترتیب ۲۹/۹۰ و ۹۳/۲۳ درصد افزایش داد. همچنین، محلول‌پاشی ملاتونین، اسیدآمینه پرولین و اسید فولیک محتوی فلاونوئید را در مقایسه با شاهد به‌ترتیب۱۷/۶۴، ۲۳/۳۵ و ۳۲/۳۵ درصد افزایش دادند. بنابراین، محلول‌پاشی ملاتونین می‌تواند راهکاری برای افزایش خصوصیات کمّی و کیفی بادرنجبویه در شرایط آبیاری نرمال و تنش ملایم باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، پرولین، درصد اسانس، ماده خشک، ملاتونین

مقدمه

گیاهان دارویی یکی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران هستند که در صورت شناخت علمی، کشت، توسعه و بهره برداری صحیح می‌توانند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و صادرات غیرنفتی داشته باشند. ایران از لحاظ آب‌وهوا، موقعیت جغرافیایی و زمینه رشد گیاهان دارویی یکی از بهترین مناطق جهان محسوب می‌شود و در گذشته هم منبع تولید و مصرف گیاهان دارویی بوده است (Sultan *et al.,* 2015). بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) یک گیاه دارویی چند ساله از خانواده نَعناعیان[۳] است.

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، مهاباد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: S.sharafi@iau. Mahabad.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2023.83280.1159

3- Lamiaceae

این گیاه بومی نواحی ساحلی دریای مدیترانه تا ایران است و به‌طور گسترده در اروپای میانه و جنوبی، بالکان، ایران، آفریقای جنوبی، آمریکای شمالی، هند، اوکراین و... قفقاز و آسیای میانه کشت می شود، بادرنجبویه به‌طور کلی در طب سنتی برای درمان مشکلات گوارشی، درد و اختلالات روانی استفاده می‌شود، مهم‌ترین اجزای اسانس این گیاه ترانس-کاروئول، ایزوبورنئول، کارواکرول استات، سیترونلول هستند (Jamal Omidi et al., 2018).

تنش خشکی یکی از جدی‌ترین و گسترده‌ترین مشکلاتی است که بهره‌وری گیاه را محدود می‌کند، زیرا بر فیزیولوژی گیاه تأثیر منفی می‌گذارد. اثرات تنش خشکی به مدت، شدت و مرحله رشد و ظرفیت تحمل ژنتیکی گیاهان بستگی دارد که می‌تواند رشد گیاهان را کاهش دهد، به‌طوری‌که باعث تغییر ساختارهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی و الگوی توزیع زیست‌توده یا حتی مرگ می‌شود (Gamze *et al*., 2005). تنش خشکی باعث آسیب اکسیداتیو با تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌شود که با بسته شدن روزنه ها موجب مهار فتوسنتز می‌شود و فعالیت آنزیم‌ها را تغییر می‌دهد (Maksup et al., 2014). با این حال، کمبود آب یک تهدید جدی برای تولید بادرنجبویه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که باعث کاهش عملکرد جهانی محصول و همچنین تولید اسانس می‌شود (Ahmadi et al., 2019;Jamal Omidi et al., 2018).

گیاهان از برخی استراتژی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برای افزایش تحمل تنش و همچنین، تولید تعدادی ترکیب برای مقابله با شرایط تنش‌زا استفاده می‌کنند که برای درک بهتر مکانیسم‌های آن‌ها نیاز است که مطالعات بیشتری در این زمینه صورت گیرد (Yang et al., 2010). گزارش شده است که محتوای اسانس گیاه و اجزای آن تحت تأثیر عواملی مانند تنش خشکی و مصرف کود است (Amuamuha et al., 2012).

یکی از اهداف فیزیولوژی پیشرفته گیاهی، تشخیص ترکیبات کارآمد، اقتصادی و ارزان برای افزایش تحمل گیاه به تنش‌های زنده و غیر زنده است. محرک‌های رشد گیاهی قادر به تحریک رشد و توسعه گیاهی تحت شرایط بهینه و تنش هستند (Ronga et al., 2019). این مواد قادر به تنظیم و افزایش فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه نیز هستند. محرک‌های رشد در فیزیولوژی گیاه از راه‌های مختلف از جمله بهبود رشد محصول، عملکرد، کیفیت، جذب عناصر غذایی و تحمل به تنش‌های غیرزنده عمل می‌کنند (Yakhin et al., 2017)، همچنین محرک‌های رشد بر روی متابولیسم گیاه اثر می گذارند و می‌توانند باعث اصلاح ساختار ریشه و افزایش توسعه ریشه شوند. یکی از انواع محرک‌های رشد گیاهی، اسیدهای آمینه هستند (Nardi et al., 2015). مهرآفرین و همکاران (Mehrafarin et al., 2015) نشان دادند که محتوی اسانس در گیاه بادرنجبویه در تیمار کاربرد اسیدآمینه (آمینولفورت و فسنوترن) افزایش یافت، همچنین بهبود درصد اسانس در اثر کاربرد اسیدهای آمینه (Aminolforte) در گیاهان دارویی بر روی بابونه آلمانی (*Matricaria recutita* L.) (Golzadeh et al., 2011) نیز گزارش شده است.

ملاتونین[1] یک ماده با وزن مولکولی کم با یک حلقه ایندول در ساختار آن است. تریپتوفان پیش‌ساز بیوسنتز ملاتونین است و در همه موجودات زنده از باکتری گرفته تا پستانداران وجود دارد. سطح ملاتونین در گیاهان از یک‌گونه به گونه دیگر و همچنین در بین گونه‌های یک‌گونه متفاوت است (Arnao & Hernandez-Ruiz, 2019). نتایج به‌دست‌آمده در سال‌های اخیر قویاً نشان می‌دهد که ملاتونین می‌تواند ترکیبی امیدوارکننده برای کاهش تنش‌های محیطی، به‌ویژه کمبود آب باشد (Arnao Nawaz et al., 2019 ; Shi et al., 2016). در مطالعه حشمتی و همکاران (Heshmati et al., 2021) مشاهده شد که محلول‌پاشی ملاتونین تحت شرایط نرمال و تنش کم‌آبی محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی، قندهای محلول و محتوی فلاونوئید را در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) افزایش داد، آن‌ها اظهار داشتند محلول‌پاشی ملاتونین با کاهش شدت تنش به‌دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانتی خود، محیطی بدون تنش برای گیاه ایجاد کرده است تا نیازی به افزایش متابولیت‌هایی که به‌طور معمول در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابند، نداشته باشد.

با توجه به اهمیت گیاهان دارویی و مواجهه این گیاهان با شدت-های مختلفی از تنش کم‌آبی در استان آذربایجان غربی و به‌خصوص شهرستان مهاباد مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر برخی از محرک-های رشد گیاهی مانند آمینواسید پرولین، ملاتونین و اسید فولیک بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و به‌خصوص درصد و عملکرد اسانس گیاه بادرنجبویه در سطوح مختلف تنش کم‌آبی انجام شد.

1- N-acetyl-5-methoxytryptamine

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱- ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد انجام شد. محل آزمایش در طول جغرافیایی ۴۵° و ۴۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ° ۳۶ و ۱ دقیقه و ارتفاع ۱۱۰۰ متر از سطح دریا واقع بود که از لحاظ اقلیمی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور طبقه‌بندی شده است. بافت خاک محل آزمایش لومی رسی سیلت با مقدار pH برابر ۷/۵ بود، دیگر مشخصات خاک محل آزمایش در جدول ۱ قید گردیده است.

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد که در آن، سطوح مختلف آبیاری شامل شرایط بدون تنش و آبیاری بعد از ۸۰ (شرایط متعارف آبیاری)، ۶۰ (تنش ملایم) و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید کم آبی) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی محرک‌های مختلف رشد شامل شاهد (محلول-پاشی آب مقطر) ملاتونین (غلظت ۱۰۰ میکرومولار) (Alyammahi & Gururani, 2020)، اسیدآمینه پرولین (پنج در هزار) (Arab et al., 2017) و اسید فولیک (پنج در هزار) (Khan et al., 2022) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در اوایل بهار در زمینی که سال قبل به کشت گندم اختصاص‌داده شده بود، در این بررسی، مقدار نیاز آبی بادرنجبویه ۱۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار در نظر گرفته شد (Ghamarnia et al., 2015)، بنابراین، مقدار آب مصرفی برای تیمارهای ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب حدود ۱۱۰۰، ۸۰۰۰ و ۶۰۰۰ مترمکعب در نظر گرفته شد.

عملیات شخم و دو دیسک عمود بر هم انجام شد. کاشت بذور به‌صورت دستی و در عمق ۱/۵ سانتی‌متری خاک در اوایل فروردین (۱۰ فروردین ۱۴۰۱) انجام شد (Ahmadi et al., 2019)، در هر نقطه از محل کاشت سه تا چهار بذر قرار داده شدند و در مرحله سه تا چهاربرگی، زمانی که گیاه استقرار یافت، یک بوته باقی ماند. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کشت به‌طول دو متر و فاصله بین خطوط ۲۵ سانتی‌متر بودند، فاصله بین بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (ابعاد هر کرت سه مترمربع) (Ahmadi et al., 2019)، جهت جلوگیری از اختلاط تیمارها، فاصله بین کرت‌ها ۲/۵ متر در نظر گرفته شد. مقدار کود مورد نیاز بر اساس آزمون خاک و نیاز گیاه در نظر گرفته شد، بر این اساس ۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره، ۸۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل و ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم مورد استفاده قرار گرفت. ظرفیت زراعی خاک به کمک دستگاه دیسک صفحه فشاری محاسبه و سطوح تنش ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشخص شد. به‌منظور تعیین دقیق زمان آبیاری، از دستگاه رطوبت‌سنج خاک (TDR) مدل German, FM-Trime ساخت کشور آلمان استفاده شد که با آن درصد حجمی رطوبت در عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک برآورد گردید. کلیه واحدهای آزمایشی تا مرحله چهار برگی که گیاه استقرار کامل یافت، به‌صورت یکسان آبیاری شدند و بعد از آن، اعمال تیمارهای مختلف کم‌آبی بر اساس نقشه کاشت زمین انجام گرفت و اعمال تیمارهای آبیاری تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گیاه ادامه یافت. با توجه به این نکته که روش آبیاری به‌صورت آبیاری قطره‌ای (با بازدهی آبیاری ۹۰ درصد) و نوار تیپ بود با توجه به مساحت هر واحد آزمایشی حجم آب مورد نیاز برای هر واحد آزمایشی برآورد شد و با نصب کنتور حجمی میزان آب مورد نیاز به‌دست آمد. محلول‌پاشی در سه مرحله شامل دو روز قبل از اعمال تنش کم‌آبی در مرحله سه تا پنج برگی گیاه در اوایل اردیبهشت، اواخر اردیبهشت و اواسط خرداد انجام گرفت. محلول‌پاشی با موتور پشتی و در اویل صبح، قبل از طلوع آفتاب انجام شد. در طول فصل رشد، عملیات داشت؛ مانند کنترل علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها به‌صورت یکسان برای کلیه واحدهای آزمایشی انجام شد.

پس از حذف حاشیه‌ها (یک متر از ابتدا و انتهای هر واحد آزمایشی)، در انتهای مرحله گل‌دهی (اواخر تیر و اوایل شهریور) نمونه‌برداری از کرت‌ها انجام شد و از هر کرت به‌طور تصادفی ۱۰ بوته برداشت شد. بوته‌های برداشت شده به‌مدت چند روز در دمای اتاق خشک شدند تا کاملاً رطوبت خود را از دست بدهند. سپس، بوته‌های چیده شده برای هر کرت جداگانه توزین شدند. محصول هر کرت به طور جداگانه داخل کیسه‌های شماره‌گذاری‌شده جمع‌آوری شد. برداشت کلی بعد از برداشت نمونه‌های اصلی انجام گردید. در این بررسی، خصوصیات مورفولوژیک (وزن خشک) و بیوشیمیایی (اسانس، پرولین، کربوهیدارت‌های محلول، کلروفیل، محتوی فنل و فلاونوئید) بادرنجبویه اندازه‌گیری شدند.

پرولین برگ طبق روش بیتس (Bates, 1973) اندازه‌گیری شد، برای اندازه‌گیری محتوی کلروفیل دو گرم از برگ جوان گیاه با استن ۸۰ درصد همگن و صاف گردید و سپس به حجم نهایی عصاره به ۲۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. مقدار کلروفیل با تعیین جذب عصاره در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از روش آرون (Arnon

et al., 1976) محاسبه گردید. استخراج اسانس به‌روش کلونجر (Clevenger et al., 1928) و با استفاده از روش تقطیر با آب و دستگاه اسانس‌گیر صورت پذیرفت. عملکرد اسانس با ضرب درصد اسانس در عملکرد ماده خشک محاسبه شد. سنجش محتوی فنل کل به‌روش ویلیوگلو و همکاران (Velioglu et al., 1998) انجام گرفت. برای محاسبه فنل کل از منحنی استاندارد اسید گالیک استفاده گردید. محتوای فنل کل بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم وزن تر گزارش گردید. فلاونوئید به‌روش نورسنجی کلرید آلومینیوم اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS.9.4 انجام گرفت. میانگین‌های به‌دست‌آمده با استفاده از روش دانکن (LSR) و در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه آماری شدند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical analysis of the experimental soil

پارامتر Parameters	درصد اشباع Sp %	هدایت الکتریکی EC (dS.m)	ظرفیت اشباع W.P	اسیدته pH	آهک T. N. V %	ماده آلی O.C%	نیتروژن N%	فسفر P (mg.kg^{-1})	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت خاک Texture
Value	44	1.39	12.3	7.5	4.55	1.23	0.14	14.50	448	15	55	28	Silt clay loam

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری و محلول-پاشی مواد محرک رشد بر کلیه صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بین تیمارهای اثر متقابل از لحاظ محتوی کلروفیل، محتوی پرولین، درصد اسانس، عملکرد اسانس و محتوی فلاونوئید در سطح احتمال یک درصد و از لحاظ محتوی نسبی آب برگ، عملکرد ماده خشک، محتوی قندهای محلول و محتوی فنل کل در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲).

محتوی کلروفیل کل

گیاهان محلول‌پاشی شده با ملاتونین تحت شرایط آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۲/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر، بالاترین محتوی کلروفیل کل را تولید کردند، درحالی‌که تیمار عدم محلول‌پاشی و همچنین، محلول‌پاشی پرولین، هر دو با متوسط ۰/۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر، کمترین محتوی کلروفیل کل را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). نتایج همچنین بیانگر آن بود که تیمار محلول‌پاشی ملاتونین در هر سه تیمار آبیاری توانست اثر مثبتی بر افزایش محتوی کلروفیل کل داشته باشد و محتوی این ماده را در مقایسه با شاهد به‌صورت معنی‌داری افزایش داد. در تحقیقی بر روی بادرنجبویه، تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری از محتوی کلروفیل برگ کاست (Mohasseli et al., 2020). یکی از دلایل کاهش محتوی کلروفیل‌ها تحت شرایط تنش کم‌آبی، رقابت آنزیم گلوتامیل کیناز (آنزیم کاتالیزکننده پرولین) و آنزیم گلوتامات لیگاز (اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل) در شرایط تنش کم‌آبی است که موجب می-شود تا پیش‌ساز گلوتامات، بیشتر به مصرف پرولین برسد و در نتیجه، بیوسنتز کلروفیل با کاهش روبرو شود (Ramak et al., 2014). نتایج مشابهی نیز از کاهش محتوی کلروفیل برگ برای گونه‌های *Melissa officinalis* و *Thymus kotschyanus* در معرض تنش خشکی گزارش شده است (Jamal Omidi et al., 2018; Mohasseli & Sadeghi, 2019).

با محلول‌پاشی ملاتونین، رنگدانه‌های کلروفیل حفظ شده و فتوسنتز در گیاهان رشد کرده تحت شرایط تنش کم‌آبی افزایش خواهد یافت (Cui et al., 2017). در پژوهشی بر روی ذرت (*Zea mays*) (Ahmad et al., 2019) گزارش شد که ملاتونین موجب افزایش پایداری کلروفیل برگ تحت شرایط تنش خشکی در گیاه بادرنجبویه (*Lemon balm*) شده است. در تحقیقی در گیاه بادرنجبویه گزارش شد که با تشدید تنش کم‌آبی از محتوی کلروفیل برگ کاسته شد، امّا محلول‌پاشی سطح ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین در کلیه سطوح آبیاری بر محتوی کلروفیل برگ افزود (Kabiri et al., 2018).

جدول ۲ - تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات موردمطالعه در بادرنجبویه، تحت تأثیر آبیاری و محلول‌پاشی محرک‌های رشد.

Table 2- Variance analysis (mean square) of studied traits in balm influenced by different irrigation regimes and growth stimulants

منابع تغیر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares								
		کلروفیل کل Total chlorophyll	محتوی نسبی آب برگ Relative water content	عملکرد ماده خشک Dry matter yield	محتوی پرولین Proline content	قند محلول Soluble sugars	درصد اسانس Essential oil	عملکرد اسانس Essential oil yield	فنل کل Total phenol	فلاونوئید Flanoid
تکرار Replication	3	0.11	43.19	2021.00	0.10	0.003	0.013	0.77	0.36	0.00006
آبیاری Irrigation (I)	2	3.90**	1979.69**	14524.2**	1.64**	9.25**	0.97**	36.06**	925.17**	0.0027**
خطای اول Ea	6	1.01	59.20	668.11	0.10	0.027	0.003	0.14	2.70	0.00006
محرک رشد Growth Stimulants (GS)	3	1.27**	626.52**	20901.5**	1.38**	0.27**	0.118**	17.61**	27.76**	0.00036**
I × GS	6	0.31**	188.89*	1077.5*	0.39**	0.08*	0.044**	3.02**	8.49*	0.00006^{ns}
خطای دو Eb	27	0.04	175.74	397.7	0.10	0.02	0.123	0.42	2.84	0.00004
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		17.20	12.75	11.23	17.54	5.98	21.36	12.56	3.98	14.80

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

**, * and ns: significant at 1% and 5% of probability levels and non-significant, respectively.

در این پژوهش، محلول‌پاشی پرولین باعث افزایش محتوی کلروفیل در بادرنجبویه در سطوح آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی شد که در واقع، محلول‌پاشی پرولین باعث افزایش بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی و حفاظت از رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش می‌شود (Ali et al., 2007). همچنین، محلول‌پاشی پرولین در گیاهان باعث افزایش هدایت روزنه‌ای شده و میزان دی‌اکسیدکربن را در فضای روزنه افزایش می‌دهد که به‌دنبال آن، میزان فتوسنتز گیاه افزایش یافته و افزایش عملکرد را به‌دنبال خواهد داشت (Ali et al., 2007). بهبود محتوی کلروفیل برگ در اثر کاربرد اسیدهای آمینه در مطالعات دیگری نیز ثابت شده است (Mehrafarin et al., 2015). محتوی کلروفیل منجر به تولید انرژی بالا و در نهایت، افزایش کیفیت و کمیت عملکرد گیاه خواهد شد (Li et al., 2000). گزارش شده است که محتوای کلروفیل a و b با استفاده از اسیدهای آمینه افزایش یافت (Shehata et al., 2011).

محتوی نسبی آب برگ

گیاهان رشد کرده تحت تیمار محلول‌پاشی ملاتونین و آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۸۸/۱۲ درصد بالاترین محتوی نسبی آب برگ را به خود اختصاص داد، اختلاف بین این تیمار و تیمار محلول‌پاشی اسید فولیک تحت شرایط آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (با متوسط ۵۱/۸۷ درصد) (که کمترین محتوی نسبی آب برگ را به خود اختصاص داداه بود) معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج همچنین نشان داد که در دو شرایط آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، محلول‌پاشی ملاتونین و اسیدآمینه پرولین توانست در مقایسه با شاهد مربوطه به‌صورت معنی‌داری محتوی نسبی آب برگ را افزایش دهد (جدول ۳). با تشدید تنش کم‌آبی، جذب آب توسط برگ‌ها کاهش می‌یابد و از سوی دیگر، این کاهش سبب می‌شود تا گیاه نتواند محتوای آب برگ خود را حفظ کند و از این رو، با گذشت زمان، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (Munns et al., 2006). کاهش محتوی نسبی آب در گیاه بادرنجبویه در مطالعات دیگری نیز

به اثبات رسیده است، در آن مطالعه، محلول‌پاشی پلورامین محتوی آب نسبی برگ را تحت شرایط تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری افزایش داد (Mohammadi et al., 2021).

عملکرد ماده خشک

بر اساس نتایج تحقیق حاضر، محلول‌پاشی با ملاتونین و اسیدآمینه پرولین تحت شرایط آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب با متوسط ۷۹۳/۷۹ و ۷۴۸/۹۶ کیلوگرم در هکتار بالاترین و شاهد محلول‌پاشی تحت شرایط ۴۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۲۹۳/۴۷ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد ماده خشک را به خود اختصاص داد (جدول ۳). در این بررسی، محلول‌پاشی ملاتونین و آمینواسید پرولین در هر سه شرایط رطوبتی و محلول‌پاشی اسید فولیک تحت شرایط تنش ملایم و شدید، عملکرد ماده خشک را به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش داد. افزایش عملکرد ماده خشک در تیمارهای محلول‌پاشی تحت شرایط نرمال و تنش‌های کم‌آبی را می‌توان به اثر این تیمارها در بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی و افزایش محتوی نسبی آب برگ نسبت داد، بهبود این خصوصیات موجب افزایش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی و در نتیجه، افزایش عملکرد ماده خشک گیاه خواهد شد. نشان داده شده است که تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری موجب کاهش ماده خشک کل در گیاه بادرنجبویه شد، امّا پس از محلول‌پاشی پلورامین بهبود قابل توجهی در عملکرد ماده خشک این گیاه مشاهده شد (Mohammadi et al., 2021). در تحقیقی دیگر، بیشترین میانگین عملکرد ماده خشک در بادرنجبویه به تیمار آبیاری نرمال (بدون تنش) اختصاص داشت (Gordanic et al., 2021).

در این مطالعه، عملکرد ماده خشک واکنش مثبتی به محلول-پاشی ملاتونین نشان داد، گزارش شده است که در گیاهانی که با ملاتونین محلول‌پاشی شده‌اند، محتوی نیتروژن و فسفر در برگ در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال افزایش قابل توجهی نشان داده است (Al-Huqail et al., 2020). همچنین گزارش شده است که میزان تحمل گیاه به تنش کم‌آبی در تیمارهای کاربرد ملاتونین به‌واسطه خواص آنتی‌اکسیدانی این ماده است که به‌طور مستقیم با اثرات مضر گونه‌های فعال اکسیژن با تحریک افزایش تولید آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی مقابله می‌کند و در نتیجه، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه را بهبود می‌بخشد (Zahedi et al., 2021). در تحقیقی بر روی گیاه بادرنجبویه گزارش شد که تیمار ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین هم تحت شرایط آبیاری نرمال و هم تحت شرایط تنش خشکی، عملکرد ماده خشک را افزایش داد (Mohammadi et al., 2021).

در این مطالعه، کاربرد اسیدآمینه پرولین نیز موجب بهبود عملکرد ماده خشک گیاه بادرنجبویه شد، نتایج مشابهی توسط رحیمی و همکاران. (Rahimi et al., 2013)، روی گیاهان ریحان (*Ocimum basilicum*) و بادرنجبویه (Mehrafarin et al., 2015) گزارش شده است. اسیدهای آمینه به‌عنوان پیش‌سازها و اجزای تشکیل‌دهنده پروتئین‌ها در نظر گرفته می‌شوند که برای تحریک رشد سلولی مهم هستند. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که اسیدهای آمینه‌ای که به‌عنوان کود در گیاهان استفاده می‌شوند، فرایندهای تنفس گیاه، فتوسنتز و چرخه آب را ارتقا می‌دهند. علاوه‌براین، اسیدهای آمینه غلظت اسید آسکوربیک را افزایش داده و سنتز پروتئین را تسریع کرده و در نتیجه، رشد گیاه و تشکیل ماده خشک را در گیاهان افزایش می‌دهند (Dromantiene et al., 2013). گزارش شده است که اسیدآمینه با سنتز پروتئین و اسیدهای نوکلئیک و کاهش تخریب آن‌ها، باعث بهبود عملکرد گیاه کرفس کوهی (*Celeriac plant*) در شرایط تنش خشکی می‌شوند (Salwa & Osama, 2014). در مطالعه‌ای بر روی سویا (*Glycine max*) مشاهده شد که تیمارهای اسیدهای آمینه به‌طور قابل توجهی صفات رشد اندام هوایی و وزن تر و همچنین، عملکرد غلاف را بهبود می‌بخشد (Saeed et al., 2005).

در این آزمایش مشاهده شد که اسید فولیک عملکرد ماده خشک گیاه را بهبود بخشید، اظهار شده است که مصرف اسید فولیک به‌دلیل وجود عنصر آهن در ساختمان آن می‌تواند با تأمین این عنصر از طریق برگ عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Nardi et al., 2002). همچنین، محلول‌پاشی برگی اسیدهای آمینه، بازده میزان جذب نیتروژن از خاک را توسط گیاه افزایش داده و تا حدی موجب کاهش آبشویی نیتروژن از خاک می‌شود (Liu et al., 2007). به‌طور کلی، اسیدهای آمینه موادی هستند که موجب تحریک متابولیسم و فرایندهای سوخت‌وساز متابولیکی در جهت افزایش کارایی گیاهان در جهت استفاده از عوامل محیطی می‌شوند (Faten et al., 2010).

محتوی پرولین

مقایسه میانگین تیمارهای اثر متقابل نشان داد، اگر چه محتوی پرولین در گیاهان محلول‌پاشی شده با پرولین تحت شرایط آبیاری ۴۰

درصد ظرفیت زراعی بـا متوسـط ۲/۶۸ میلـی‌گـرم بـر گـرم وزن تـر بالاترین محتوی پرولین را به خود اختصاص داد، امّا اختلاف بین ایـن تیمار و تیمارهای محلول‌پاشی ملاتونین و اسید فولیـک تحـت تیمـار آبیاری ۴۰ درصد و همچنین محلول‌پاشی اسید فولیک تحـت شـرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیـت زراعـی معنـی‌دار نبـود، کمتـرین محتـوی پرولین نیز با متوسـط ۱/۰۱ میلـی‌گـرم بـر گـرم وزن تـر بـه شـاهد محلول‌پاشی تحت تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی ثبـت شـد، کـه بـا تیمارهای محلول‌پاشی ملاتونین تحت تیمارهای آبیـاری بعـد از ۶۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی از لحاظ محتوی پرولین در یک سـطح قـرار داشتند و اخـتلاف بـین آن‌هـا معنـی‌دار نبـود. نتـایج تحقیـق حاضـر همچنین نشان داد که تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی مواد محـرک رشـد به‌خصوص پرولین، مقدار تولید پرولین را تشدید کرد (جدول ۳).

P5CS، یک ژن مهم درگیر در بیوسنتز پرولین است که بیـان آن تحت شـرایط تـنش خشـکی در گیاهـان مختلـف تسـریع مـی‌شـود (Nasirzadeh et al., 2021). گزارش شده است کـه تحـت شـرایط تنش کم‌آبـی پـرولین و قنـدهای محلـول در گیاهـان، نقـش تنظیم اسمزی، انتقال سیگنال، حفظ تعادل ردوکس و ثبات ساختار سلولی را در گیاهان را بر عهده دارند (Ghafari et al., 2019). چندین مطالعـه نشان داده‌اند که پرولین و قندهای محلـول در تحمـل بـه خشـکی و سازگاری در طیف گسترده‌ای از گونه‌های گیاهی نقش دارنـد (Abid et al., 2018). در مطالعـه نوبـل آمـوا و سـیو (Noble Amoah & Seo, 2021) با تشدید تنش کم‌آبی بر محتوی پرولین برگ گنـدم (*Triticum avestivum*) افزوده شد. در این بررسی، تیمـار ملاتـونین اثر مثبتی بر افزایش محتوی ملاتونین در سطوح مختلف تنش کم‌آبی داشت. ملاتونین ممکن است، سطح پرولین را با القای بیان پیـرولین-۵-کربوکسیلات سنتتاز ۱ (P5CS1)، آنزیمی که در بیوسـنتز پـرولین دخیل است، افزایش دهـد (Alyammahi & Gururani, 2020). در تحقیقی بر روی ذرت، بیشترین محتوی پرولین برگ به شرایط تـنش شدید خشکی (FC = ۴۰-۴۵٪) و تیمار با ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین اختصاص یافت (Ahmad et al., 2019).

تأثیر مثبت اسیدآمینه بر محتوی پرولین ممکن است به‌دلیل نقش آن در ساخت DNA، RNAو پروتئین مورد نیاز برای تشکیل آنزیم-هایی باشد که به‌شدت مورد نیاز برای فعالیت حیاتی و افزایش تقسیم سلولی است که منجر به افزایش این فعالیت این آنزیم تحـت شـرایط تنش باشد (Baqir & AL-Naqeeb, 2019).

در این بررسی، محلول‌پاشی پرولین در شرایط تنش خشکی باعث افزایش غلظت پرولین درون‌سلولی شـد. نشـان داده شـده اسـت کـه پرولین نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاهان بـه تـنش دارد. نتـایج پژوهش‌های محققین مختلف در زمینه محلول‌پاشی پرولین در گیاهان گـل رز (*Rosa hybida*) (Kumar et al., 2010) و یونجـه (*Medicago sativa*) (Hayat et al., 2012) نشان دادند کـه مقـدار پرولین در اثر تیمارهای محلول‌پاشی افزایش نشان داده است.

محتوی قندهای محلول

نتایج مقایسه میانگین تیمارهای اثر متقابل آبیاری با محلول‌پاشی مواد محرک رشد از لحاظ اثر بر محتوی قنـد محلـول نشـان داد کـه محلول‌پاشی مواد ملاتونین، پرولین و اسید فولیک تحت تیمار آبیـاری بعد از ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بـه‌ترتیـب بـا متوسـط ۵/۰۳، ۵/۰۴ و ۴/۹۱ میلی‌گرم بر لیتر، بـالاترین و شـاهد محلول‌پاشـی تحـت تیمـار آبیاری ۸۰ درصد با متوسط ۳/۲۲ درصد، کمترین محتوی قند محلول را به خود اختصاص دادند. در این آزمـایش، اگـر چـه تـنش کـم‌آبـی محتوی قندهای محلول را افزایش داد؛ امّا محلول‌پاشی مواد محـرک رشد به‌خصوص ملاتونین در هر سطح خشکی به‌صورت معنی‌داری بر محتوی این ماده در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی افـزود (جـدول ۳). یکی از راهکارهای گیاهان برای مقابله با تنش کـم‌آبـی، افـزایش محتوی اسمولیت‌های سازگار ماننـد قنـد محلـول اسـت، بـا افـزایش محتوی قندهای محلول پتانسیل اسمزی داخل گیاه و سلول منفـی‌تـر از محیط خاک شده و گیاه می‌تواند از طریق ریشه آب جذب کنـد. در مطالعه تور و همکاران (Toor et al., 2006)، کـاربرد کودهـای آلـی (کود دامی) موجب افزایش میزان قند و کـربن در گیـاه گوجـه‌فرنگی شد. همچنین گزارش شده است کـه اسـید فولیـک مشـابه هورمـون جیبرلین، آلفا آمیلاز و دیگر آنزیم‌های هیدرولیزکننده را تلقیح می‌کنـد و موجب افزایش کربوهیدرات‌ها و سطح آنتوسیانین می‌شود (Remon et al., 2000). در مطالعه حشـمتی و همکـاران (Heshmati et al., 2021)، محلول‌پاشی ملاتونین تحت شـرایط نرمـال و تـنش کم‌آبـی محتوی قندهای را در گیاه گلرنگ افزایش داد.

درصد اسانس

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی ملاتونین و پرولین تحت شـرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بـه‌ترتیـب بـا متوسـط ۰/۸۱ و ۰/۸۷

درصد، بالاترین درصد اسانس را بـه خـود اختصـاص دادنـد، شـاهد و همچنین محلول‌پاشی اسـیدآمینه پـرولین تحـت شـرایط آبیـاری ۸۰ درصد ظرفیت هر دو با متوسط ۰/۲۷ درصد، کمترین درصد اسانس را به خود اختصاص دادند، هر چند اختلاف بین ایـن تیمـار و تیمارهـای شاهد محلول‌پاشی، محلول‌پاشـی آمینواسـید پـرولین و اسـید فولیـک تحت تیمار آبیاری بعـد از ۴۰ درصـد ظرفیـت زراعـی از نظـر درصـد اسانس معنی‌دار نبود. در این بررسی، اگر چه با تشدید تنش کم‌آبی بر درصـد اسـانس افـزوده شـد؛ امـّا محلول‌پاشـی مـواد محـرک رشـد به‌خصوص ملاتونین در هر سه سطح آبیاری اثر مثبتی بر سنتز اسانس داشته و مقدار تولید این متابولیت را افزایش داد. تنش خشـکی سـبب افزایش درصد اسانس گیاهان دارویی مختلف می‌شود، زیرا تحت تأثیر تنش خشکی مقدار فنل‌ها و فلاونوئیدها که از اجـزای تشـکیل‌دهنده اسـانس‌هـای گیاهـان دارویـی هسـتند، افـزایش مـی‌یابـد (Khorasaninejad et al., 2011). بهبـود درصـد اسـانس در ایـن آزمایش، ممکـن اسـت بـه‌دلیـل اثـر مثبـت ایـن تیمارهـا بـر سـنتز متابولیت‌های ثانویه در گیاه باشند که در بهبود مقاومت به تـنش‌هـای محیطی در گیاهان نقـش دارنـد (Nguyen & Niemeyer, 2010). در تحقیقی، تنش آبی بر محتوای اسانس برگ اثر مثبت داشت، امّا بر عملکرد قسمت هـوایی بادرنجبویـه و خصوصـیات مورفولـوژیکی اثـر منفی نشان داد (Gordanic et al., 2021). گزارش شـده اسـت کـه محتوای سیترونلال، نرال، دلتاکادینن، ژرماکرین و ژرانیال در پاسخ به کاربرد اسید آمنیه آمینولفورت و فسنوترن در بادرنجبویه افزایش یافت (Mehrafarin et al., 2015). محتـوای اسـانس نیـز بـا اسـتفاده از کادوستیم و کود شیمیایی افزایش یافت. بهبود درصـد اسـانس در اثـر کاربرد اسیدهای آمنیه (Aminolforte) در گیاهـان دارویـی بـر روی بابونـه آلمـانی (*Matricaria recutita* L.) (Golzadeh et al., 2011) نیز گزارش شده است.

عملکرد اسانس

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی ملاتونین و پرولین تحت شـرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بـه‌ترتیـب بـا متوسـط ۶/۴۶ و ۶/۴۶ کیلوگرم در هکتار بالاترین و شاهد محلول‌پاشی تحت تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسـط ۰/۸۸ کیلـوگرم در هکتـار، کمتـرین مقـدار عملکرد اسانس را به خود اختصاص دادنـد، در ایـن بررسـی عملکـرد اسانس، واکنش مثبتی به محلول‌پاشی مواد محـرک رشـد نشـان داد، به‌طوری‌که محلول‌پاشی ملاتونین در هر سه سطح آبیاری، عملکـرد اسانس را به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش داد (جـدول ۳).

با توجه به اینکه عملکرد اسانس از دو جـزء وزن مـاده خشـک و درصد اسانس تشکیل شده است، بهبود عملکرد اسانس در تیمارهـای محلول‌پاشی را می‌توان به اثر مثبت این تیمارها بـر اجـزای عملکـرد اسانس نسبت داد. اگرچه بیوسنتز اسانس در گیاهان تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است، امّا عوامـل محیطـی نیـز تـأثیر بسـزایی در تولیـد ایـن محصولات دارند (Sadeghi et al., 2014). گزارش شـده اسـت کـه تمام اسانس‌های اصلی بادرنجبویه در ابتدا با قـرار گـرفتن در معـرض تنش خفیف آبی (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند، امّا کاهش قابل تـوجهی در ایـن صـفت تحـت شـرایط تـنش خشکی (آبیاری تا ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) گزارش شد (Mohasseli et al., 2020). کاهش محتوای اسـانس در نتیجـه کم‌آبـی شـدید در بابونه (*Matricaria chamomilla*) مشاهده شده است (Razmjoo et al., 2008). درحالی‌که سـوتومایور و همکـاران (Sotomayor et al., 2004) گزارش کردند که حداکثر تولید مـاده خشـک گیـاهی و عملکرد اسانس در گیاه آویشن (*Thymus vulgaris*) در تیمـار تـنش خشکی ملایم به‌دست آمد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. بـا این حال، بسته به گونه گیاهی، تنش خشکی می‌تواند اثرات افزایشـی و کاهشی داشته و یا حتی تأثیری بر میزان تولید اسانس نداشته باشد. در تحقیقی، تنش خشکی ملایم باعث افزایش مقدار اسانس شد، امّا با افزایش شدت تنش خشکی، محتوای اسانس به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Gholinezhad, 2017). مطابق نتایج تحقیـق حاضـر، علـوی سـامانی و همکـاران (Alavi-Samani et al., 2015) همچنـین گزارش کردند که تنش خشکی متوسط منجـر بـه افـزایش عملکـرد اسانس آویشن شد. در تحقیقی، اثر تنش کم‌آبی قبـل از برداشـت بـر خصوصیات رویشی و اسانس برگ گیاه بادرنجبویه بررسی و مشـاهده شد که تنش آبی اثر معنی‌داری بر محتوای اسانس در برگ‌های گیـاه داشته است. در این مطالعه، بیشترین میانگین عملکرد اسانس در تیمار تنش ملایم کم‌آبی به‌دست آمد (Gordanic et al., 2021). گـزارش شده است که تنش شدید خشکی باعث کاهش زیسـت‌توده گیـاهی و عملکرد اسانس شوید (*Anethum graveolens*) می‌شـود (Amiri et al., 2014) که این یافتهها با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. تنش خشکی ناشی از کاهش فتوسـنتز گیـاهی باعـث کـاهش تولیـد مـاده

خشک و عملکرد دانه شده و در نتیجه، عملکرد اسانس نیز کاهش می یابد (Gholinezhad, 2017).

محتوی فنل کل

نتایج مقایسه میانگین فنل کل تیمارهای برهم‌کنش آبیاری با محلول‌پاشی مواد محرک رشد نشان داد که محلول‌پاشی ملاتونین، اسید فولیک و آمینو اسید پرولین تحت تیمار آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب با متوسط ۰/۵۰ و ۰/۵۰ و ۰/۴۹ میلی‌گرم اکی والان‌های اسید گالیک در ۱۰۰ گرم عصاره، بالاترین و شاهد محلول-پاشی و اسید فولیک تحت تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۰/۳۲ و ۰/۳۳ میلی گرم اکی والان‌های اسید گالیک در ۱۰۰ گرم عصاره، کمترین محتوی فنل کل را به خود اختصاص داد. در این بررسی، تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی مواد محرک رشد به‌خصوص ملاتونین، اثر هم‌افزایی بر افزایش محتوی فنل کل داشت (جدول ۳). در تحقیقی دیگر، محلول‌پاشی پلورامین و تلقیح *P. fluorescens* PF-135 به‌دلیل افزایش RWC، فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانی و کاهش محتوای مالون دی آلدئید و پراکسید هیدروژن منجر به تحمل بالاتری نسبت به شرایط تنش کمبود آب در گیاه شوید (*Anethum graveolens*) شد. علاوه‌براین، تنش کمبود آب منجر به افزایش اسید کافئیک، رزمارینیک اسید، محتوای اسانس، پرولین و محتوی قند کل شد و استفاده از پلورامین و تلقیح P. fluorescens PF-135 کاهش محتوای این ترکیبات را نشان داد (Amiri et al., 2014).

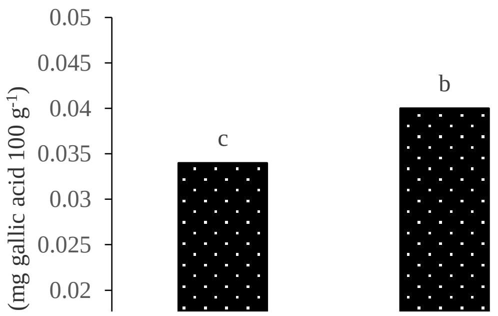
به نظر می‌رسد که کاربرد ملاتونین با افزایش سطح رونوشت برداری و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان توانایی گیاه را برای مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی را بهبود می-بخشد، نشان داده شده است که کاربرد ملاتونین به‌صورت قابل توجهی تولید پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل را کاهش می‌دهد (Zhang et al., 2014). یانگ و همکاران (Yang et al., 2018) گزارش کردند که کاربرد ملاتونین به‌صورت اسپری و یا همراه با آب آبیاری باعث کاهش خسارت به سیستم فتوسنتزی گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) می‌شود.

در آزمایشی بر روی گیاه شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra*) مشاهده شد که کاربرد اسیدهای آمینه، محتوی کلروفیل برگ را در این گیاه افزایش داد (Soltani et al., 2017). همچنین در تحقیقی دیگر، کاربرد اسیدهای آمینه محتوی فنل را در آویشن افزایش داد (Reda et al., 2005). افزایش محتوی فنل در اثر کاربرد اسید فولیک بر روی گیاه سرخار گل (*Echinacea angustifolia*) (Agha Alikhani et al., 2013) و کتان (*Linum usitatissimum*) گزارش شده است (Bakry et al., 2013). افزایش محتوی ترکیبات فنلی با افزایش میزان کربوهیدرات‌ها در گیاه ارتباط مستقیم دارد، اسکلت مورد نیاز برای سنتز ترکیبات فنلی کربوهیدرات‌ها هستند، لذا افزایش در مقدار آن‌ها به‌عنوان افزایش پیش‌ماده برای ترکیبات فنلی است (Nguyen & Niemeyer, 2010).

محتوی فلاونوئید کل

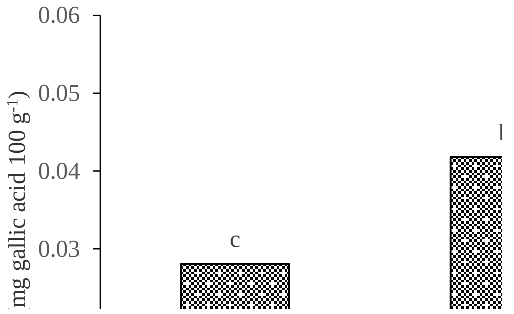
نتایج مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری نشان داد که با تشدید تنش کم آبی بر محتوی فلاونوئید برگ افزوده شد، در این مطالعه، تیمار آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، محتوی فلانوئید را در مقایسه با سطوح ۶۰ و ۸۰ درصد به‌ترتیب ۲۹/۹۰ و ۹۳/۲۳ درصد افزایش داد (شکل ۱). یکی از فعال‌ترین متابولیت‌های ثانویه در گیاهان، فلاونوئیدها هستند. آن‌ها یک سیستم آنتی‌اکسیدانی ثانویه را تشکیل می‌دهند که در نتیجه کاهش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی فعال می شود (Agati et al., 2012). این مواد می‌توانند با مکان‌یابی و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد قبل از آسیب رساندن به سلول‌ها، به عنوان جاذب ROS عمل کنند و بنابراین، برای گیاهان تحت شرایط محیطی نامطلوب مهم هستند (Løvdal et al., 2010). افزایش قابل توجه در سطح فلاونوئیدها به‌دنبال تنش‌های زیستی و غیر زیستی مانند زخم، خشکسالی، سمیت فلزات و تنش کمبود عناصر غذایی مشاهده شده است (Agati et al., 2012).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که محلول‌پاشی ملاتونین، اسیدآمینه پرولین و اسید فولیک محتوی فلاونوئید را در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۱۷/۶۴، ۲۳/۳۵ و ۳۲/۳۵ درصد افزایش دادند (شکل ۲). گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید فولیک از طریق سازوکارهایی نظیر انحلال ویتامین‌ها، ایزو آنزیم‌ها، هورمون‌ها و آنتی بیوتیک‌های طبیعی، سنتز آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز را فعال و در نهایت، موجب افزایش محتوی فلاونوئید در گیاه می‌شود (Salehi et al., 2014). همچنین در تحقیقی دیگر، محلول‌پاشی(پرولین به‌صورت معنی‌داری بر محتوی فلانوئید در گیاه مرزه (*Satureia montana*)افزود (Mohammadi Khalifelouiy et al., 2020).



شکل ۱- مقایسه میانگین سطوح آبیاری از لحاظ اثر بر محتوی فلانوئید

Fig. 1- Mean comparison of irrigation treatments in terms of flavonoid content



شکل ۲- مقایسه میانگین تیمارهای محرک رشد از لحاظ اثر بر محتوی فلانوئید

Fig. 2- Mean comparison of growth stimulants treatments in terms of flavonoid content

جدول ۳-مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در بادرنجبویه تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محرک‌های رشد

Table 3- mean comparison of measured characteristics in balm influenced by different irrigation regimes and growth stimulants

آبیاری Irrigation	محرک رشد Growth stimulants	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g^{-1} FW)	محتوی نسبی آب برگ Relative water content (%)	عملکرد ماده خشک Dry matter yield (kg.ha^{-1})	محتوی پرولین Proline content (mg.g^{-1} FW)	قند محلول Soluble sugars (mg.l^{-1})	درصد اسانس essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg.ha^{-1})	فنل کل Total phenol (mg gallic acid.100 g^{-1})
آبیاری بعد از ۸۰٪ ظرفیت زراعی Irrigation after 80% FC	شاهد Control	1.37cd	70.00cd	502.86ef	1.017e	3.22h	0.275e	1.36ef	0.32h
	ملاتونین Melatonin	2.25a	88.12a	793.79a	1.407de	3.59f	0.450d	3.53b	0.35f
	آمینو اسید Amino acid	1.90b	84.37ab	748.96ab	1.700cd	3.53fg	0.275e	2.06de	0.35fg
	فولیک اسید Folic acid	1.20de	73.12bc	559.61de	2.027bc	3.33gh	0.400de	2.27d	0.33gh
آبیاری بعد از ۶۰٪ ظرفیت زراعی Irrigation after 60% FC	شاهد Control	1.05efg	58.75de	384.59g	1.830bcd	4.03e	0.687b	2.61cd	0.40e
	ملاتونین Melatonin	1.95b	75.00bc	665.92bc	1.457de	4.59c	0.810a	6.46a	0.45c
	آمینو اسید Amino acid	1.55c	80.62abc	679.44bc	1.830bcd	4.49cd	0.875a	6.46a	0.44cd
	فولیک اسید Folic acid	1.12def	70.00cd	558.21de	2.297ab	4.29d	0.600bc	3.39bc	0.42d
آبیاری بعد از ۴۰٪ ظرفیت زراعی Irrigation after 40% FC	شاهد Control	0.55h	60.00de	293.47h	1.500d	5.03a	0.300e	0.88f	0.47.bc
	ملاتونین Melatonin	0.90fg	56.25e	630.97cd	2.272ab	5.03a	0.525cd	3.32bc	0.50a
	آمینو اسید Amino acid	0.55h	58.25de	458.66fg	2.685a	4.91ab	0.400de	1.83de	0.49ab
	فولیک اسید Folic acid	0.80gh	51.87e	463.31fg	2.257ab	4.71bc	0.412de	1.91de	0.50a

در هر ستون میانگین دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ هستند.

Means in each column, followed by a similar letter(s), are not significantly different at the 5% probability level.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه مهم‌ترین صفت در گیاهان دارویی عملکرد اسانس است، در این بررسی بالاترین عملکرد اسانس تحت شرایط تنش کم‌آبی ملایم و محلول‌پاشی ملاتونین و اسیدآمینه پرولین به دست آمد، همچنین محلول‌پاشی ملاتونین در هر سه شرایط آبیاری عملکرد اسانس را در مقایسه با شاهد مربوطه افزایش داد، می‌توان اظهار داشت که تحت شرایط آبیاری و محلول‌پاشی ملاتونین، سنتز متابولیت‌های ثانویه و اسانس تسریع شده و موجب تولید حداکثر عملکرد اسانس شده است، بنابراین محلول‌پاشی ملاتونین و تنش ملایم کم‌آبی می‌تواند جهت دستیابی به حداکثر عملکرد اقتصادی در بادرنجبویه قابل توصیه باشد.

References

1. Abid, M., Ali, S., Qi, L.K., Zahoor, R., Tian. Z., Jiang, D., Snider, J.L., & Dai, T. (2018). Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Reports, 8*, 4615-4625. https/ doi.org/10.1038/s41598-018-21441-7
2. Agha Alikhani, M., Iranpour, A., & Wind turbine, M. (2013). Changes in the crop and phytochemical yield of the herb, infected with urea and biofertilizer. *Phylum of Herbs*, *46*(2), 125-134.
3. Ahmad, S., Kamran, M., Ding, R., Meng, X., Wang, H., Ahmad, I., Fahad, S., & Han, Q. (2019). Exogenous melatonin confers drought stress by promoting plant growth, photosynthetic capacity and antioxidant defense system of maize seedlings. *Peer Journal*, *7*, 7793-7808. https/ doi.org/DOI: 10.7717/peerj.7793
4. Ahmadi, T., Shabani, L., & Sabzalian, M.R. (2019). Improvement in drought tolerance of lemon balm, *Melissa officinalis* L. under the pretreatment of LED lighting. *Plant Physiology and Biochemistry, 139*, 548-557. https/ doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.021
5. Alavi-Samani, S.M., Kachouei, M.A., & Pirbalouti, A.G. (2015). Growth, yield, chemical composition, and antioxidant activity of essential oils from two thyme species under foliar application of jasmonic acid and water deficit conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, *56*(4), 411-420.
6. Al-Huqail, A.A., Khan, M.N., Ali, H.M., Siddiqui, M.H., Al-Huqail, A.A., AlZuaibr, F.M., Al-Muwayhi, M.A., Marraiki, N., & Al-Humaid, L.A. (2021). Exogenous melatonin mitigates boron toxicity in wheat. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *201*, 1-12.
7. Ali, Q., Ashraf, M., & Athar, H.R. (2007). Exogenously applied proline at different growth stages enhances growth of two maize cultivars grown under water deficit conditions. *Pakistan Journal of Botany*, *39*, 1133-1144.
8. Alyammahi, O., Gururani, M.A. (2020). Chlorophyll-a fluorescence analysis reveals differential response of photosynthetic machinery in melatonin-treated oat plants exposed to osmotic stress. *Agronomy, 10*, 1520-1539.
9. Amiri, H., Emami, H., & Abdollahi, S.F. (2014). Effects of water stress on the quantity and quality of essential oil of dill (*Anethum graveolens* L.). *Plant Process and Function*, *3*(10), 143-149.
10. Amuamuha, L.A., Pirzad, A.R., & Hadi, H. (2012). Effect of varying concentrations and time of nano iron foliar application on the yield and essential oil of Pot marigold. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* , *3*(10), 2085-2090.
11. Arab S., Firoozabadi M., Gholami A., Aghari H.R., & Rahimi M. (2017). Effect of ascorbic acid and sodium nitroprusside associating on protein content, grain yield and some traits of safflower under irrigation stress. *Journal of Crop Production*, *9*(1), 69-87. https/ doi.org/10.22069/EJCP.2016.2957
12. Arnao, M.B., & Hernández-Ruiz, J. (2019). Role of melatonin to enhance phytoremediation capacity. *Applied Sciences, 9*, 5293-5305. https://doi.org/10.3390/app9245293
13. Arnon, A. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
14. Ashraf, M., & Foolad, M.R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, *59*, 206-216.
15. Bakry, A.B., Mervat, SH., Sadak, H.T., Moamen, E.M., & Abd, E.L. (2013). Influence of humic acid and organic fertilizer on growth, chemical constituents, yield and quality of two flax seed cultivars grown under newly reclaimed sandy soils. *International Journal of Academic Research*, *5*(5), 125-134.

16. Baqir, H.A., & AL-Naqeeb, M.A.S. (2019). Effect of some amino acids on tillering and yield of three bread wheat cultivars. *Iraqi Journal of Agriculture Sciences*. *50*, 20-30.
17. Clevenger, J. F. (1928) Apparatus for the determination of volatile oil, *Journal of Pharmaceutical*, 17. 345–349
18. Cui, G., Zhao, X., Liu, S., Sun, F., Zhang, C., & Xi, Y. (2017). Beneficial effects of melatonin in overcoming drought stress in wheat seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, *118*, 138-149. https/ doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.06.014
19. Donghong, W., Qinghua, S., Xiufeng, W., Min, W., Jinyu, H., Jun, L., & Fengjuan, Y. (2010). Influence of cow manure vermicompost on the growth, metabolite contents, and antioxidant activities of Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *Chinensis*). *Biology and Fertility of Soils*, *46*, 689-696.
20. Dromantiene, R., Pranckietiene, I., Sidlauskas, G., & Pranckietis, V. (2013). Changes in technological properties of common wheat (*Triticum aestivum* L.) grain as influenced by amino acid fertilizers. *Zemdirbyste-Agriculture*, *100*(1), 57-62.
21. Faten, S.A., Shaheen, A.M., Ahmed, A.A., & Mahmoud, A.R. (2010). Effect of foliar application of amino acids as antioxidants of growth, yield and characteristics of squash. *Research Journal of Agriculture and Biological Science*, *6*(5), 583-588.
22. Gamze, O., Mehmet, D.K., & Mehmet A. (2005). Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *29*, 237-242
23. Ghafari, H., Tadayon, M.R., Nadeem, M., Cheema, M., & Razmjoo, J. (2019). Proline-mediated changes in antioxidant enzymatic activities and the physiology of sugar beet under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, *41*, 23-34.
24. Ghamarnia, H., Mousabeygi, F., & Arj, I. (2015). Lemon balm (*Melissa officinalis* L.) water requirement, crop coefficients determination and SIMDualKc model implementing. *European Journal of Medicinal Plants*, *5*(3), 281-296.
25. Ghafoor, R., Akram, N.A., Rashid, M., Ashraf, M., Iqbal, M., & Lixin, Z. (2019). Exogenously applied proline induced changes in key anatomical features and physio-biochemical attributes in water stressed oat (*Avena sativa* L.) plants. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *25*(5), 1121-1135. https://doi: 10.1007/s12298-019-00683-3. Epub 2019 Jul 15. PMID: 31564776; PMCID: PMC6745592.
26. Gholinezhad, E. (2017). Effect of drought stress and Fe Nano-fertilizer on seed yield, morphological traits, essential oil percentage and yield of dill (*Anethum graveolens* L.). *TEOP*, *20*(4), 1006‑1017. https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1362999
27. Golzadeh, H., Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., Fazeli, F., Qaderi, A., & Zarinpanjeh N. (2011). Effect of biostimulators compounds on quantitative and qualitative yield of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Seasonal Publication of Medicinal Plants*, *8*(1), 195-208. 41.
28. Gordanic, S., Radanovic, D., Lukic, M., Mrđan, S., Mikic, S., Prijic, Z., & Markovic, T. (2021). Influence of water stress prior to harvest on yield and essential oil content of pot grown lemon balm. *Natural Medicinal Materials*, *5*, 54-67. http://dx.doi.org/10.5937/leksir2141062G
29. Hargreaves, J.C., & Warman, P.R. (2009). The effects of municipal solid waste compost and compost tea on mineral element uptake and fruit quality of strawberries. *Compost Science and Utilization*, *17*(2), 85-94
30. Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M.N., Wani, A.S., Pichtel, J., & Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments: A review. *Plant Signaling and Behavior*, *7*, 1456-1466.
31. Heshmati, S., Akbari, G. A., Soltani, E., Amini, M., Fathi Amirkhiz, K., & Maleki, K. (2021). Study the photosynthetic pigments and phenolic compounds of safflower in response to foliar application of melatonin under water deficit condition. *Plant Process and Function*, *10* (41), 279-294. (In Persian with English abstract). http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.41.14.4
32. Jamal Omidi, F., Mohajjel Shoja, H., & Sariri, R. (2018). Effect of water-deficit stress on secondary metabolites of *Melissa officinalis* L.: Role of exogenous salicylic acid. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, *16* (2), 121‑134.
33. Kabiri, R., Hatami, A., Oloumi, B., & Naghizadeh, M. (2018). Foliar application of melatonin induces tolerance to drought stress in Moldavian balm plants (*Dracocephalum moldavica*) through regulating the antioxidant system. *Folia Horticulturae*, *30*(1), 155-167. https://doi.org/10.2478/fhort-2018-0016
34. Khan, M,T., Ahmed, S., Sardar, R., Shareef, M., Abbasi, A, Mohiuddin, M., Ercisli, S., Fiaz, S., Marc, R.A.,

Attia, K., Khan, N., & Golokhvast, K.S . (2022) Impression of foliar-applied folic acid on coriander (*Coriandrum sativum* L.) to regulate aerial growth, biochemical activity, and essential oil profiling under drought stress. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1005710. https/ doi.org/10.3389/fpls.2022.1005710

35. Khorasaninejad, S., Mousavi, A., Soltanloo, H., Hemmati, K., & halighi, A. (2011). The effect of drought stress on growth parameters, essential oil yield and constituent of peppermint. *Journal of Medicinal Plants Research*, *5*(22), 5360-5365.
36. Kumar, N., Pal, M., Singh, A., Sairam, R.K., & Srivasatava, G.C. (2010). Exogenous proline alleviates oxidative stress abd increase vase life in rose (*Rosa hybrida* L. Grand Gala). *Scientia Horticulturae*, *127*, 79-85. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.009
37. Liu, X.Q., Ko, K.Y., Kim, S.H., & Lee, K.S. (2007). Effect of amino acid fertilization on nitrate assimilation of leafy radish and soil chemical properties in high nitrate soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *39*, 269-281
38. Maksup, S., Roytrakul, S., & Supaibulwatana K. (2014). Physiological and comparative proteomic analyses of Thai jasmine rice and two check cultivars in response to drought stress. *Journal of Plant Interactions*, *9*, 43-55.
39. Mohammadi Khalifelouiy, Z., Abbasifar, A.R., Khadivi, A., & Akramian, M. (2020). The effect of proline and 24-epibrassinolide on growth indices and biochemical characteristics of the summer savory (*Satureja hortensis* L.). The *Journal of Plant Research*, *32*(4), 925-940. (In Persian)
40. Mohammadi, H., Saeedi, S., Hazrati, S., & Brestic, M. (2021). Physiological and phytochemical responses of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) to pluramin application and inoculation with *Pseudomonas fluorescens* PF-135 under water-deficit stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, *68*, 909–922
41. Mohasseli, V., & Sadeghi, S. (2019). Exogenously applied sodium nitroprusside improves physiological attributes and essential oil yield of two drought susceptible and resistant species of *Thymus* under reduced irrigation. *Industrial Crops and Products*, *130*, 130‑136. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.058
42. Mohasseli, V., Farbood, F., & Moradi, A. (2020). Antioxidant defense and metabolic responses of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) to Fe-nano-particles under reduced irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*, *149*, 112338. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112338
43. Munns, R., James, R.A., & Lauchli, A. (2006) Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal Experimental Botany*, *57*, 1025 -1043.
44. Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M., & Ertani, A. (2015). Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*. *73*, 18-23. https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0006
45. Nguyen, P.H.M., Kwee, E.M., & Niemeyer, E.D. (2010). Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. *Food Chemistry*, *123*(4), 1235-1241
46. Noble Amoah, J., & Seo, W.Y. (2021). Effect of progressive drought stress on physio-biochemical responses and gene expression patterns in wheat. *Biotechnology*, *11*, 440-428.
47. Rahimi, A., Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., & Khalighi-Sigaroodi, F. (2013). Effects of biostimulators and bio-fertilizers on morphological traits of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Annals of Applied Biology Research*, *4* (5), 146 - 151.
48. Ramak, M., Khavari Nejad, R., Hidari Sharifabad, H., Rafiee, M., & Khademi, K. (2014). The effect of water stress on dry weight and photosynthetic pigments in two sainfoin species. *Iranian Journal of Rangelands Forests Plant Breeding and Genetic Research*, *14*(2), 91-80. (In Persian with English abstract)
49. Razmjoo, K., Heydarizadeh, P., & Sabzalian, M.R. (2008). Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of *Matricaria chamomile*. *International Journal of Agriculture and Biology*, *10*, 451‑454.
50. Remon, S., Ferrer, A., Marquina, P., Burgos, J., & Oria, R. (2000). Use of modified atmospheres to prolong the postharvest life of burlat cherries at two different degrees of ripeness. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *80*(10), 1552-1545.
51. Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E., & Tava, A. (2019). Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*, *9*, 1-22. https://doi.org/10.3390/agronomy9040192
52. Saeed, M.R., Kheir, A.M., & Al-Sayed, A.A. (2005). Suppersive effect of some amino acids against *Meloidogyne incognita* on soybeans. *Journal of Agricultural Science, 30* (2), 1097 - 1103.

53. Salehi, A., Fallahi, S., Iran Pour, R., & Abbasi Sorkhi, A. (2014). Effect of time of fertilizer use in combination with cow manure on growth, yield and yield components of (*Nigella sativa* L.). *Agricultural Ecology, 6*, 495-507.
54. Salwa, A.R.H., & Osama, A.M.A. (2014). Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Annals of Agricultural Sciences*, *59*, 133–145.
55. Shehata, S.M., Abdel-Azem, H.S., El-Yazied, A.A., & El-Gizawy, AM. (2011). Effect of foliar spraying with amino acids and seaweed extract on growth chemical constitutes, yield and its quality of celeriac plant. *European Journal of Scientific Research*, *58* (2), 257 - 65
56. Shi, H., Chen, K., Wei, Y., & He, C. (2016). Fundamental issues of melatonin-mediated stress signaling in plants. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 1124. https://doi.org/10.3389%2Ffpls.2016.01124
57. Soltani, F., Haddou, A., & Jahan Judge, N. J. (2017). Effect of glutamine, citric acid and malic acid on growth indices and *Glycyrrhiza glabra* morphology quality. *Journal of Cellular and Molecular Biology*, *14*, 5-15. https/ doi.org/10.1016/j.psj.2022.102343
58. Sotomayor, J.A., Martjnez, R.M., Garcia, A.J., & Jordan, M.J. (2004). *Thymus zygis* subsp. gracilis: Watering level effect on phytomass production and essential oil quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52* (17), 5418–5424.
59. Sultan, L. A., Mejía-Chang, M., Ogaya, R, Voltas J, Dawson, T. E, & Peñuelas J. (2015). The combined effects of a long-term experimental drought and an extreme drought on the use of plant-water sources in a Mediterranean forestGlob. *Global Change Biology*, *21*, 1213–1225.
60. Toor, R.K., Geoffrey, P.S., & Anuschka, H. (2006). Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal Food Compost Analysis*, *19*, 20 - 27.
61. Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L., & Oomah, B. D. (1998) Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *46*, 4113-4117. https://doi.org/10.1021/jf9801973
62. Yakhin, O.I., Lubyanov, A.A., Yakhin, I.A., & Brown, P.H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 2049-2061. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049
63. Yang, S., Vanderbeld, B., Wan, J., & Huang, Y. (2010). Narrowing down the targets: Towards successful genetic engineering of drought tolerant crops. *Molecular Plant*, *3*, 469–490.
64. Zahedi, S.M., Hosseini, M.S., Fahadi Hoveizeh, N., Gholami, R., Abdelrahman, M., & Tran, L. S.P. (2021). Exogenous melatonin mitigates salinity-induced damage in olive seedlings by modulating ion homeostasis, antioxidant defense, and phytohormone balance. *Physiologia Plantarum*, *173*, 1682–1694.https://doi. 10.1111/ppl.13589
65. Zhang, N., Sun, Q., Zhang, H., Cao, Y., Weeda, S., Ren, S.H., & Guo, Y.D. (2015). Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. *Journal of Experimental Botany*, *66*, 647-56. https/ doi.org/10.3390/ijms24087447